

VO restopgave Peelseloop

Datum rapportage 19-09-2023
Auteurs Bart Niemeijer, Johan Boleij

1. Inleiding

In 2017 is het beekherstelproject 'Peelseloop benedenloop' uitgevoerd. Doel van het project was ecologisch en hydromorfologisch herstel van de benedenloop van de Peelseloop met speciale aandacht voor vismigratie. Onderdeel van het beekherstelproject was het verwijderen van de stuwingswerken bij stuwen 251A, 251C, 251D en 251E. De stuwconstructie is hierbij behouden gebleven, zodat het mogelijk blijft de stuwen terug te plaatsen. De droogte van 2018 is echter aanleiding geweest om de stuwen weer terug te plaatsen. Door het terug plaatsen van de stuwen is er een restopgave vismigratie over dit traject. Aangezien de stuwen gedateerd zijn is een renovatie nodig. Dit is aanleiding om de restopgave op te lossen.

Om tot een ontwerp inrichting te komen zijn de volgende stappen genomen:

- Inzichtelijk maken van de huidige hydrologische, ecologische en hydromorfologische situatie;
- Gesprekken met de omgeving om wensen en eisen op te halen;
- Ontwerp opstellen en bespreken met klankbordgroep;
- Uitwerken ontwerp;
- Toetsing ontwerp.

Voorliggende notitie geeft een beschrijving van de huidige situatie, het ontwerp en de effecten van het ontwerp. Deze notitie dient als onderbouwing en bijlage bij het projectplan waterwet.

2. Huidige situatie

Om de huidige situatie in beeld te brengen zijn:

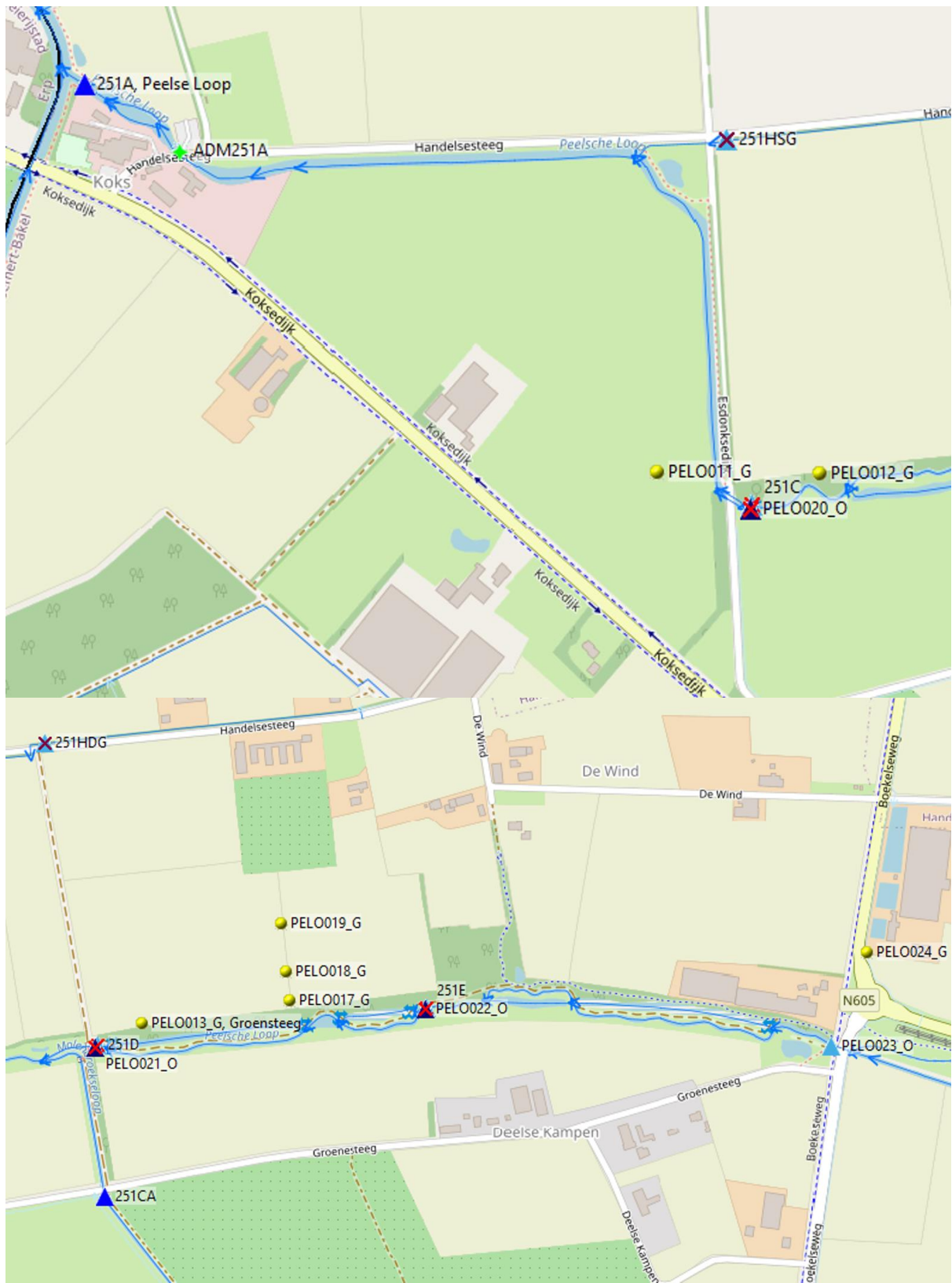
- Meetgegevens debiet en (grond)waterstanden geanalyseerd;
- Profielen van de watergang ingemeten tussen stuw 251A en 251F;
- Ingemeten profielen vergeleken met inmetingen uit 2018 en 2015;
- Geregistreerde klepstanden stuwen in beeld gebracht;
- Berekening waterstanden en stroomsnelheden met oppervlaktewatermodel in Sobek.

Meetlocaties

In en rond de Peelseloop wordt sinds uitvoering van het project in 2017 op meerdere plekken de waterstand en grondwaterstand gemeten. In onderstaande Figuur 1 zijn de meetlocaties weergegeven. Een korte toelichting per meetpunt.

Tabel 1: Overzicht meetpunten

Meetpunt	Parameters	Frequentie	Periode
251A	Kruinhoogte	Uur	2007 - heden
	Bovenstroomse waterstand	Uur	2007 - heden
	Benedenstroomse waterstand	Uur	2007 - heden
ADM251A	Waterstand	Kwartier	2020 - heden
	Stroomsnelheid	Kwartier	2020 - heden
	Debiet	Kwartier	2020 - heden
251CA	Kruinhoogte	Kwartier	2020 - heden
	Bovenstroomse waterstand	Kwartier	2020 - heden
	Benedenstroomse waterstand	Kwartier	2020 - heden
PELO011_G	Grondwaterstand	Uur	2016 - heden
PELO012_G	Grondwaterstand	Uur	2016 - heden
PELO013_G	Grondwaterstand	Uur	2016 - heden
PELO017_G	Grondwaterstand	Uur	2016 - heden
PELO018_G	Grondwaterstand	Uur	2016 - heden
PELO019_G	Grondwaterstand	Uur	2016 - heden
PELO020_O	Waterstand	Uur	2016 - heden
PELO021_O	Waterstand	Uur	2016 - heden
PELO022_O	Waterstand	Uur	2016 - heden
PELO023_O	Waterstand	Uur	2016 - heden



Figuur 1: Meetlocaties in en rond de Peelse Loop. De gele bollen zijn peilbuizen, de blauwe driehoeken waterstandsmetingen en de groene bollen akoestische debietmetingen.

Gemeten waterstanden

Benedenstrooms van stuw 251C, 251D, 251E en 251F is de waterstand gemeten sinds maart 2016. De meetgegevens zijn in onderstaande Figuur 2 weergegeven. In 2017 is het beekherstel project Peelseloop uitgevoerd. Uit de reeks is visueel op te maken dat de waterstand ter hoogte van de meetpunten na 2017 significant hoger ligt dan ervoor ondanks de droge jaren. Het verschil is ter hoogte van:

- stuw F (PELO023) circa 10 a 20 cm;
- stuw E (PELO022) circa 20 a 40 cm;
- stuw D (PELO021) circa 10 a 30 cm;
- stuw C (PELO020) circa 20 a 30 cm.

Gemeten grondwaterstanden

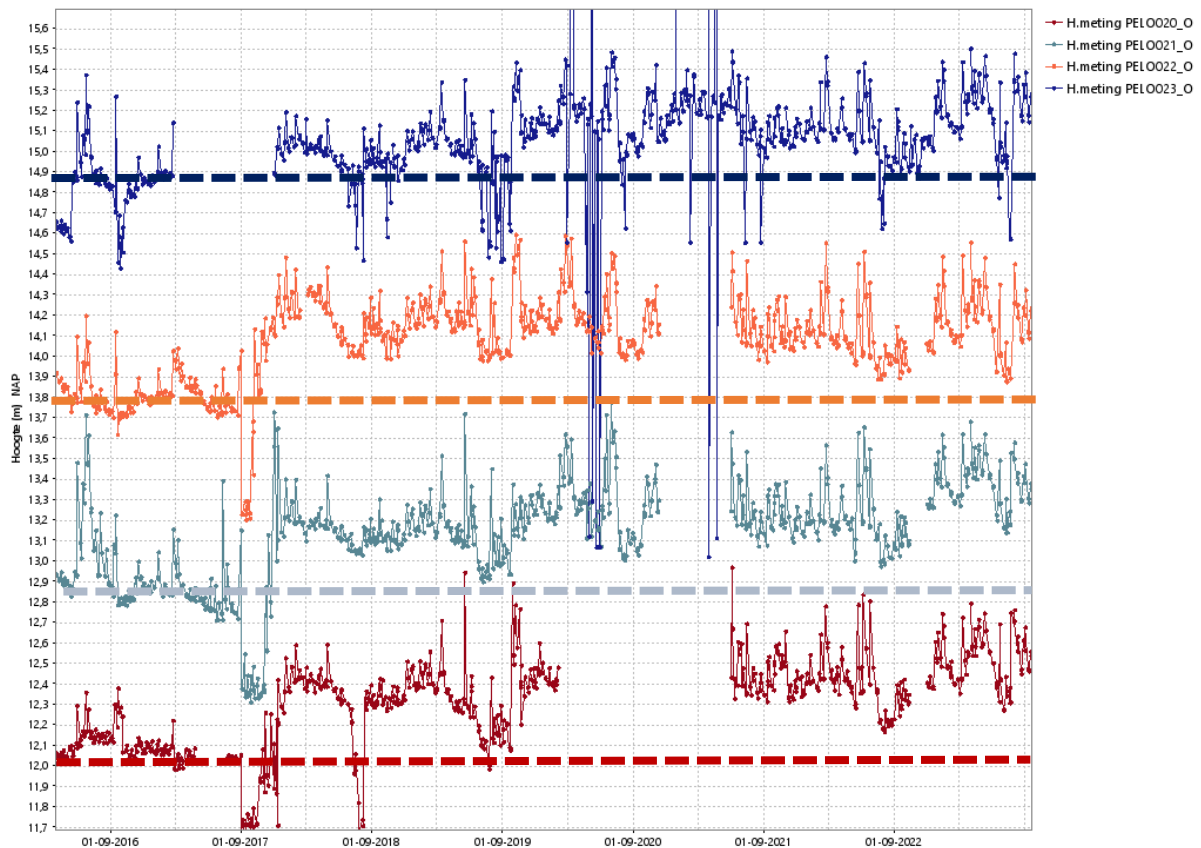
Ter indicatie is een vergelijking gemaakt tussen de (grond)waterstand in de periode 2015 – 2016 en de periode 2020 – 2022. In Tabel 2 is het verschil weergegeven van de gemeten grondwaterstanden tussen deze periode. Dit is een indicatieve eenvoudige vergelijking van de grondwaterstand tussen verschillende periode en er is geen tijdreeksanalyse uitgevoerd.

Ter hoogte van stuw C is boven- en benedenstrooms de grondwaterstand gemeten. Benedenstrooms is de verhoging van het waterpeil duidelijk terug te zien in een verhoging van de grondwaterstand bij PELO011 in de winterperiode, in de zomer is dit gelijk gebleven en iets gedaald. Bovenstrooms van de stuw is de grondwaterstand structureel met 10 tot 15 cm gestegen (PELO012).

Een verandering van de grondwaterstand is bij PELO013, PELO017, PELO018 en PELO019 op het oog niet direct zichtbaar. Ook in Tabel 2 is terug te zien dat de grondwaterstand niet structureel is verhoogd. Op grotere afstand van de beek (PELO018 en PELO019) is een verlaging zichtbaar die mogelijk veroorzaakt wordt door met name de drogere zomer.

Tabel 2: Indicatie verandering van (grond)waterstanden in en rond de Peelseloop

Situatie	Overschrijdingsfrequentie		PELO011_G [m]	PELO012_G [m]	PELO013_G [m]	PELO017_G [m]	PELO018_G [m]	PELO019_G [m]
	%	d/jaar						
Voorjaar/winter	27,4	100	0,21	0,13	-0,02	0,10	0,03	0,06
Mediaan	54,8	200	0,20	0,12	-0,01	0,06	0,03	0,02
Droogste maand	91,8	335	0,02	0,13	0,07	-0,02	-0,11	-0,05
Droogste week	98,1	358	-0,07	0,11	0,01	-0,05	-0,20	-0,12



Figuur 2: Gemeten waterstanden in de Peelse loop ter hoogte van meetpunt PELO020, PELO021, PELO022 en PELO023

Debiet Peelse loop

Ter hoogte van stuw 251A en 251CA wordt de kruinhoogte, boven- en benedenstroomse waterstand geregistreerd op kwartierbasis. Aan de hand van deze informatie is voor deze twee locaties het debiet afgeleid met gebruik van een stuwformule. Daarnaast is er een akoestische debietmeting ter beschikking onder de Handelsesteeg. Aan de hand van deze meetgegevens is een frequentieverdeling gemaakt. De verdeling is weergegeven in onderstaande Tabel 3.

Tabel 3: Frequentieverdeling gemeten debiet

Afvoersituatie	251A (m ³ /s)	ADM251A (m ³ /s)	251CA (m ³ /s)
Meetperiode	2007 - heden	2020 - heden	2020 - heden
T100	3,98	#	#
T25	3,40	#	#
T10	3,01	#	#
T1	2,05	#	#
MA	1,85	1,80	0,39
50%MA	0,96	0,84	0,21
Voorjaar/winter	0,46	0,37	0,11
Mediaan	0,28	0,18	0,07
Droogste maand	0,05	0,01	0,02
Droogste week	0,00	0,00	0,00

Uit de meetgegevens valt op te maken dat ongeveer 25% van de afvoer uit de Molenbroeksloop afkomstig is en 75% uit de Peelse loop (bovenstrooms stuw D).

Inmetingen profiel

Uit de ingemeten profielen blijkt dat er morfologische processen hebben opgetreden. Het profiel is veranderd, lokaal is de bodem wat uitgediept maar op andere plekken juist wat hoger dan direct na uitvoering. De bodem verhanglijn is op hoofdlijnen niet gewijzigd ten opzichte van 2018. De bodemophoging van 50 tot 100 cm ten opzichte van 2015 is in stand gebleven.

Klepstanden

In onderstaande tabel zijn de meest voorkomende klepstanden vanaf 2020 per stuw weergegeven. Hieruit is op te maken dat stuw A, C en E is gestuurd op bovengrens beheermarge en iets daarboven. Bij stuw D is meer op de ondergrens beheermarge gestuurd.

Tabel 4: Actuele klepstanden

Stuw	Klepstand [m+NAP]	Praktijkpeil [m+NAP] (handmeting)	Streefpeilen [m+NAP]
251A	11,9	11,9 – 12,25	12,1
251C	12,865	12,9 – 13,2	12,75 – 12,9
251D	13,525	13,55 - 13,8	13,6 – 13,8
251E	14,81	14,81 – 15,0	14,6 – 14,8

Berekende waterstanden en stroomsnelheden

Om te bepalen of stuwen in de Peelseloop noodzakelijk zijn is een berekening uitgevoerd waarbij de vergelijking is gemaakt tussen:

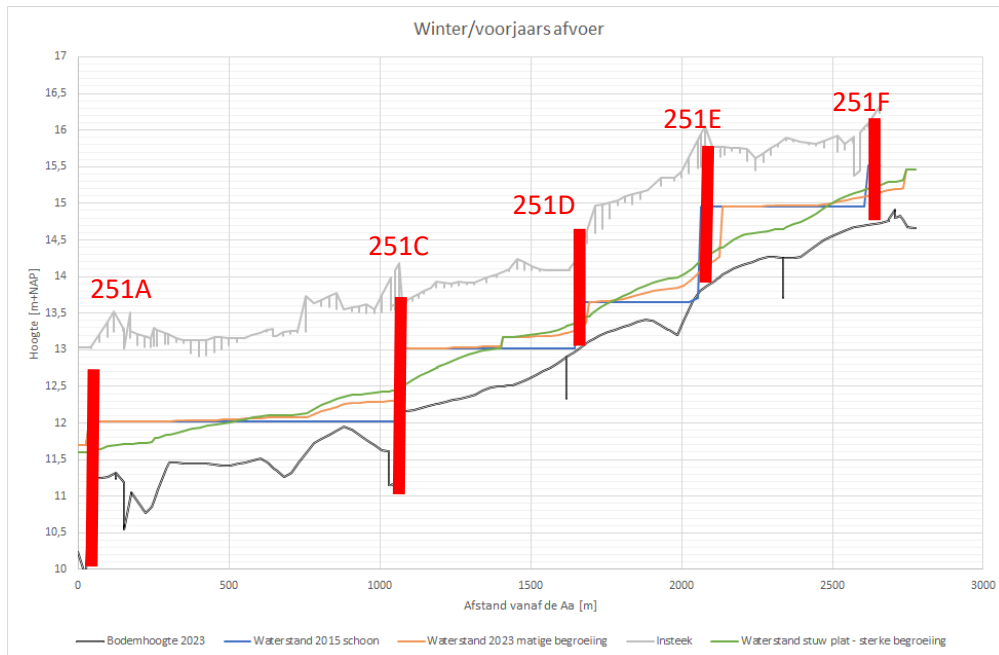
- waterstanden in de situatie voor inrichting;
- waterstanden in de huidige situatie met behoud stuwen;
- waterstanden in de huidige situatie zonder stuwen.

In alle genoemde situaties zijn de meest voorkomende klepstanden uit Tabel 4 gehanteerd.

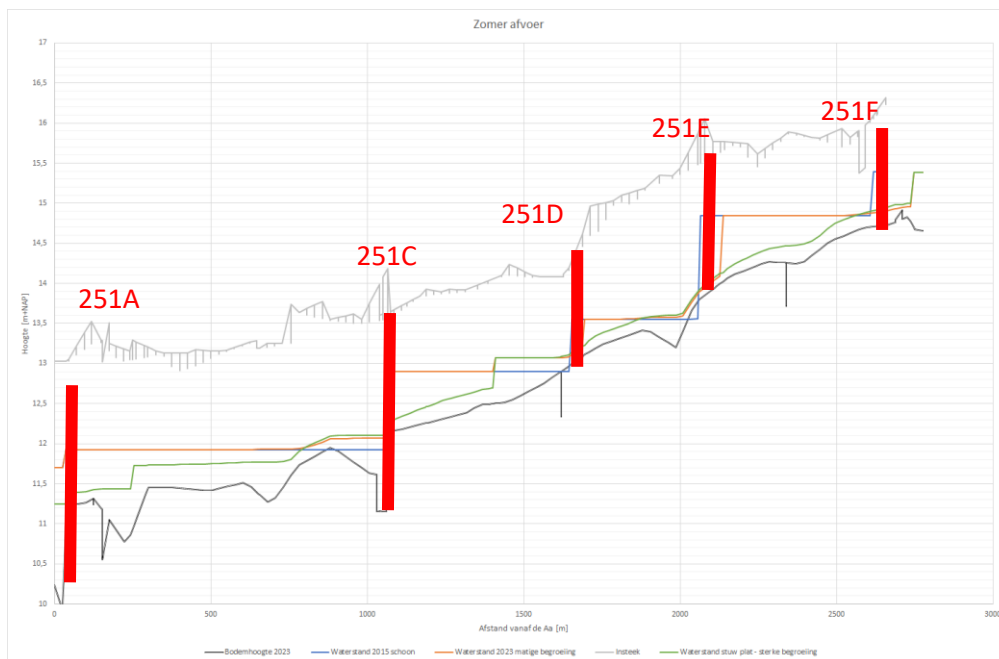
In onderstaande figuren zijn deze situaties weergegeven bij een gemiddelde winter- en zomerafvoer. De berekende waterstanden bevestigen de peilverhogen benedenstrooms van de stuwen C, D en E. Het verwijderen van de stuwen blijkt niet mogelijk zonder een significante waterstandsvaling over enkele honderden meters:

- zonder stuw zakt 50% van het tracé onder streefpeil in de winter
- zonder stuw zakt 85% van het tracé onder streefpeil in de zomer

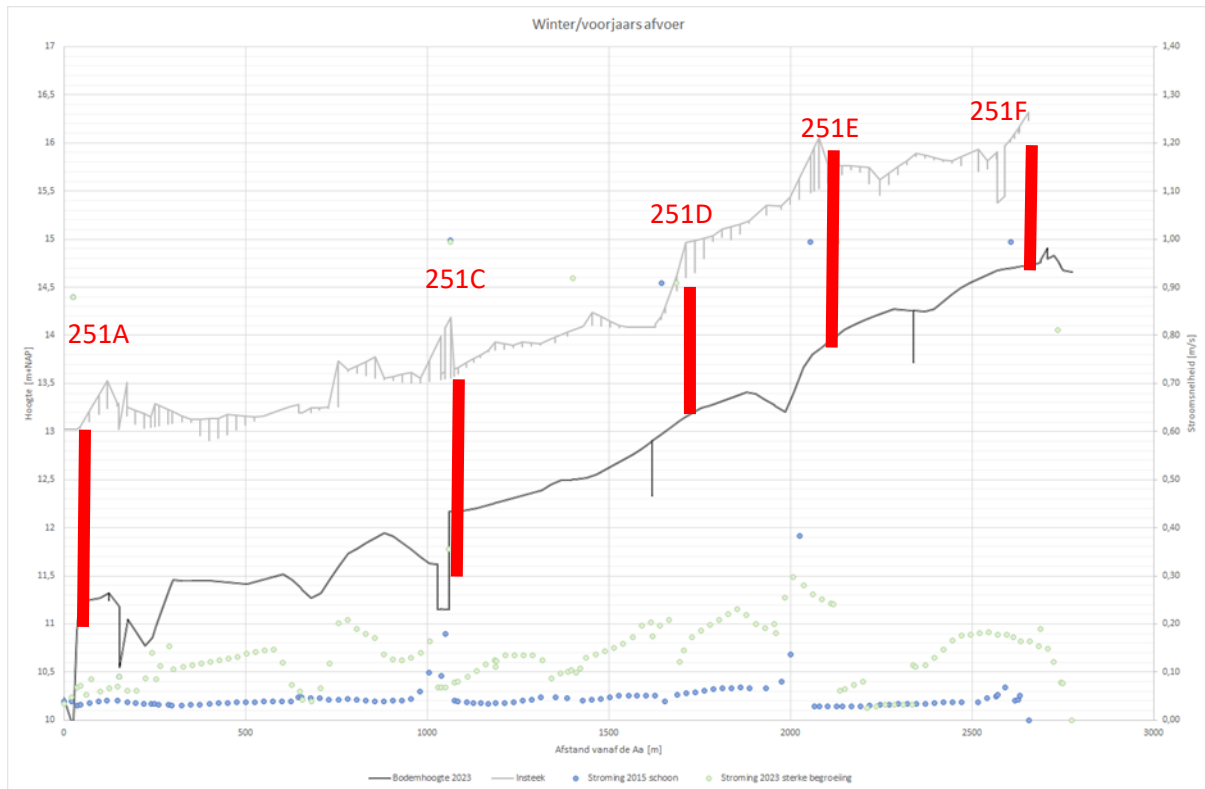
Bovenstaande betekend ook dat 50% van het tracé onder vrij verval functioneert in de winter en 15% in de zomer. Over deze trajecten is geconstateerd dat deze ecologisch goed functioneren betreffende stroming en morfologische processen. De stroomsnelheid, te zien in Figuur 5, is op die trajecten tussen de 15 en 20 cm/s (in een sterk begroeide situatie). Op korte afstand bovenstrooms van de stuwen is de stroomsnelheid <10 cm/s, echter is de stroomsnelheid in het overgrote deel > 10 cm/s. Voor de herinrichting van de Peelseloop lag de stroomsnelheid structureel onder de 5 cm/s.



Figuur 3: Lengteprofiel Peelse loop tussen 251A en 251F waarin de huidige bodemhoogte, insteekhoogte en berekende winterwaterstanden zijn weergegeven.



Figuur 4: Lengteprofiel Peelse loop tussen 251A en 251F waarin de huidige bodemhoogte, insteekhoogte en berekende zomerwaterstanden zijn weergegeven.



Figuur 5: Lengteprofiel Peelse loop tussen 251A en 251F waarin de huidige bodemhoogte, insteekhoogte en berekende stroomsnelheden in de winter/voorjaarsperiode zijn weergegeven.

3. Maatregelen ter invulling van de restopgave

Op basis van de inzichten in de huidige situatie zijn door de projectgroep maatregelen opgesteld om invulling te geven aan de restopgave:

1. Stuw 251A krijgt een technische vispassage;
2. Tussen stuw 251A en 251C worden twee drempels geplaatst in combinatie met houtpakketten t.b.v. verhang, hogere waterstanden en om lokale stromingsvariatie te creëren;
3. Stuw 251C wordt geautomatiseerd en krijgt een technische vispassage;
4. Huidige drempel 251GNS wordt vervangen met 5 drempels/cascades t.b.v. vismigratie, het huidige verval is te groot;
5. Stuw 251D wordt verwijderd en vervangen door meerdere drempels/cascades;
6. Stuw 251E wordt geautomatiseerd en krijgt een technische vispassage;
7. Stuw 251HSG wordt verplaatst benedenstrooms van de Esdonksedijk t.b.v. waterconservering.

De genoemde maatregelen zijn weergegeven op onderstaande kaart. In Tabel 5 zijn de wijzigingen per stuw weergegeven.



Maatregelenkaart

Tabel 5: maatregelen en instellingen per stuw

Stuw	Maatregel	Laagste maaiveld [m+NAP]	Streefpeil [m+NAP]	Ondergrens beheer [m+NAP]	Bovengrens beheer [m+NAP]	Bereik [m]
251A	Technische vispassage	12,75	12,1	11,9	12,3	10,7 – 12,26
251C	Automatiseren + technische vispassage	13,5	12,8	12,75	12,9	11,58 – 13,4
251D	Vervangen met cascades					
251E	Automatiseren + technische vispassage	15,4	14,65	14,6	14,8	13,71 – 15,4
251HSG	Verplaatsen	13,1	12,7	12,5	12,8	12,4 – 13,1

4. Ontwerp

Voor het ontwerp van drempels, cascades en vistrappen is gebruik gemaakt van de debietgegevens uit Tabel 3 en de waterstandsgegevens uit **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden..** Voor stuw 251A en 251C kan uitgegaan worden van de debieten van 251A. Voor 251D en E kan uitgegaan worden

van $\frac{3}{4}$ debiet van 251A. De Molenbroekseloop geeft circa 25% van het debiet voor 251A. Vanwege de grote schommelingen in debieten en vrijwel geen debiet in de zomer hebben technische vispassages de voorkeur. Bekkervispassage zijn minder geschikt voor deze situatie.

Stuw 251A

Stuw 251A is in 2022 vervangen en geautomatiseerd. Deze stuw vormt een knelpunt voor vismigratie tussen de Aa en de Peelse Loop. In normale situaties heeft de stuw een verval van circa 0,45-0,65m. Dit is vooral afhankelijk van schommelingen in de Aa. In het deel van de Aa waar de Peelse Loop uitmondt ligt nog een opgave beekherstel. Naar alle waarschijnlijkheid zal de waterstand in de Aa na uitvoering van het beekherstel toenemen, maar mogelijk ook meer fluctueren als gevolg van de afvoer.

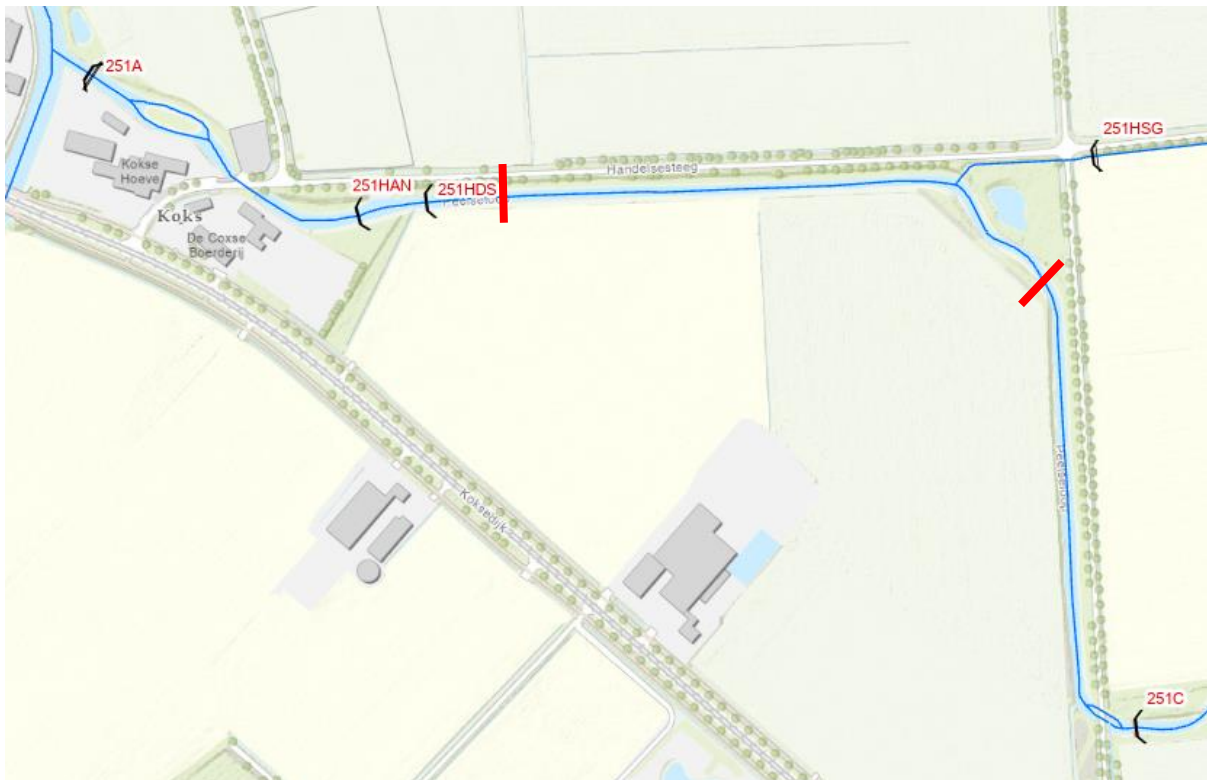
Vanwege de schommelingen in waterstanden en vooral ook de onzekerheid voor de nabije toekomst wordt een technische vispassage geadviseerd. Dat kan een Smart technische vispassage zijn. Voordeel hiervan ten opzichte van een de Witpassage is dat deze nog beter kan omgaan met verschil in waterstand (verval) en debiet. Bijkomend voordeel is dat mocht de vispassage overbodig blijken bij beekherstel van de Aa, dat deze relatief eenvoudig op een andere locatie kan worden toegepast.



Figuur 6: Voorbeeld vislift 700

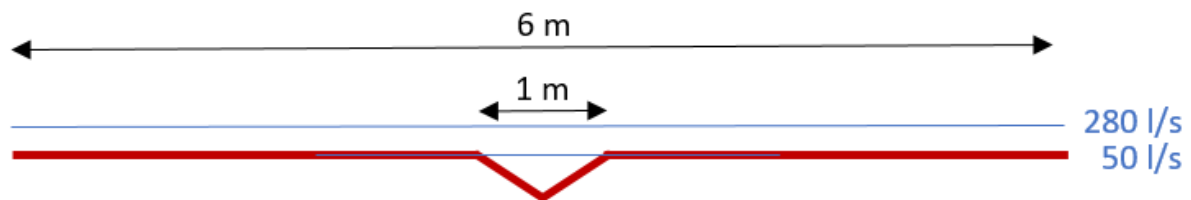
Cascades en houtpakketten tussen 251A en 251C

Benedenstrooms met stuw 251A wordt gestuurd op een streefpeil van 12,1 m+NAP. Echter zakt dit peil in de zomerperiode uit onder de stuwklep. Om het water in het peilvak 251A-251C beter vast te houden worden er cascades en houtpakketten geplaatst. De cascades en houtpakketten dienen bij lage afvoeren voor opstuwning te zorgen. De cascades zijn zo ontworpen dat lage debieten tot circa 0,05m³/s door een v-vormige overlaat gaan. Bij hogere debieten werkt de volledige breedte van de cascade. De locatie van de cascades zijn weergegeven in onderstaande Figuur 7.



Figuur 7: Locatie cascades met rode lijnen weergegeven in het stuwpannd 251A-251C.

De V-vormige overlaat is 1,0 m breed en 0,15 m diep met een talud van 1:3. De totale cascade is circa 6 meter breed. Bij dit ontwerp gaat bij een laag debiet (+/- 50 l/s) al het water door de V-vormige overlaat. Bij een mediaandebiet van 200-280 l/s is er een peilstijging van circa 5 cm, ten opzichte van bovenkant V-vorm. Belangrijk is dat benedenstrooms van de cascade vanaf de bodem tot de V-vorm de bodem wordt aangevuld met steenstort helling van minimaal 1:2 om voor met name bodemvissen goede overgang te creëren.



Tabel 6: Dimensies cascade-drempels 251A-251C

Lengte [m]	Cascade 1 [m+NAP]	Cascade 2 [m+NAP]
0	12,1	12,15
2,55	12,1	12,15
2,95	11,95	12,0
3,05	11,95	12,0
3,45	12,1	12,15
6	12,1	12,15

In totaal zijn er twee cascades nodig. Benedenstrooms van de cascades worden houtpakketten aangelegd in de vorm van stobben, takkenbossen en/of stammen in de oeverzone. Deze zorgen voor ecologisch veel meerwaarde door het permanent harder stromende water. De exacte ligging van de houtpakketten kan in het werk worden bepaald.

Stuw 251C

Stuw C wordt behouden en geautomatiseerd. Het behoud van de stuw is noodzakelijk om voldoende hoge waterpeilen te houden in droge periode. De automatiseren zorgt ervoor dat het peil beter

beheerst en gestuurd kan worden bij met name hoge afvoeren. De streefwaardes zijn weergegeven in Tabel 5.

Benedenstrooms van stuw 251C kunnen de waterstanden redelijk fluctueren. Opvallend is dat de waterstand benedenstrooms van stuw 251C veelal rond de 12,50 m+NAP (met schommelingen tussen 12,17 en 12,8) ligt, (PELO020_O), terwijl stuw 251A stuurt op circa 12,1 m+NAP.



Figuur 8: Een foto van stuw 251C.

Gezien de schommelingen in de waterstanden en beschikbaar debiet wordt een technische vispassage geadviseerd (Vislift of een de Witpassage of vergelijkbaar). Ook gezien de beschikbare ruimte.

251GRO

251 GRO is een stenendrempel die is geplaatst door een aangelande. Deze drempel is echter (vooral bij lagere afvoeren) slecht vispasseerbaar. Om deze drempel beter vispasseerbaar te maken dient deze vervangen te worden met vijf drempels. Qua ontwerp zijn de cascades gelijk aan die tussen 251A en 251C.

Tabel 7: Dimensies cascade-drempels 251GRO

L [m]	D1	D2	D3	D4	D5
0	12,95	13	13,05	13,1	13,15
2,7	12,9	12,95	13	13,05	13,1
3	12,75	12,8	12,85	12,9	12,95
3,3	12,9	12,95	13	13,05	13,1
6	12,95	13	13,05	13,1	13,15

251D

Stuw 251D wordt verwijderd. Om toch water vast te houden/ vertraagd af te voeren is het de aanbeveling om enkele cascades terug te plaatsen. Benedenstrooms van de huidige stuw 251D fluctueert het waterpeil tussen de 13,15m +NAP en uitschieters tot boven de 13,5 m+NAP. De huidige stuw heeft een streefpeil van 13,65m +NAP.

Er zijn 10 cascades nodig met een verval van 5 cm per cascade. Belangrijk is dat de cascades ver genoeg uit elkaar liggen om onderhoud mogelijk te maken. De Peelseloop groeit hier relatief snel dicht in de huidige situatie. Hiervoor is een afstand van minimaal 10 meter tussen de cascades nodig. Om bij lagere afvoeren water vast te houden en te voorkomen dat de waterstanden te ver uitzakken maar toch vismigratie mogelijk te maken wordt een V-vormige overlaat in de cascade aangebracht waar circa 40 l/s kan stromen. Qua ontwerp zijn de cascades redelijk gelijk aan die tussen 251A en 251C met als grote verschil dat de V-vorm een boven breedte heeft van 60cm. De diepte blijft wel 15cm om vismigratie mogelijk te maken. De helling wordt hiermee 1:2.

Tabel 8: Dimensies cascade-drempels 251D

L [m]	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10
0	13,2	13,25	13,3	13,35	13,4	13,45	13,5	13,55	13,6	13,65
2,7	13,15	13,2	13,25	13,3	13,35	13,4	13,45	13,5	13,55	13,6
3	13	13,05	13,1	13,15	13,2	13,25	13,3	13,35	13,4	13,45
3,3	13,15	13,2	13,25	13,3	13,35	13,4	13,45	13,5	13,55	13,6
6	13,2	13,25	13,3	13,35	13,4	13,45	13,5	13,55	13,6	13,65



Figuur 9: Stuw 251D (links) en benedenstrooms 251D (rechts)

251E

Stuw 251 E wordt behouden en geautomatiseerd. Het behoud van de stuw is noodzakelijk omdat de waterstanden bovenstrooms anders zeer ver kunnen zakken en daarmee tot verdroging leiden. Met het automatiseren is het systeem stuurbaarder. De instellingen zijn weergegeven in Tabel 5. Stuw 251E heeft een huidig streefpeil van 14,65. Benedenstrooms fluctueren de waterstanden tussen de 13,90 en 14,50 m+NAP. Waarbij doorgaans een waterstand van gemiddeld 14,10-14,20 m+NAP in het voorjaar aanwezig is. Vanwege de wisselende waterpeilen wordt hier een vislift geadviseerd ten opzichte van een de Wit passage.

5. Toetsing van het ontwerp

De cascades zijn in het ontwerp uitgewerkt en gedimensioneerd. Dit ontwerp is met het oppervlaktewatermodel van de Peelse loop getoetst inclusief de automatisering van stuw 251A, 251C en 251E.

De belangrijkste uitgangspunten van de modelberekening:

- Stationair 1D-model
- Afvoeren uit Tabel 3 zijn als vaste randvoorwaarde opgegeven;
- De profielen zijn ingemeten in februari 2023;
- Er is uitgegaan van een sterk en matige begroeide waterloop:
 - Strickler (ks) 10
 - Strickler (ks) 20
- Cascades geschematiseerd conform het ontwerp in deel 4;
- Stuw 251A, 251C en 251E zijn
 - Referentiesituatie – meest voorkomende klepstand uit Tabel 4. Onafhankelijk van de afvoersituatie;
 - Geautomatiseerd en sturen op bovengrens beheermarge.

Het ontwerp is getoetst op:

- Stroomsnelheid maximaal 100 cm/s bij cascades;
- Stroomsnelheid zomer en winterafvoeren in de beek;
- Waterstandsverandering.

Eerst wordt per stuwlocatie de verandering van de waterstand besproken. Daarna wordt de waterstandsverandering over het gehele traject behandeld. De toetsing sluit af met een beschrijving van de stroomsnelheden in de beek en bij de cascades.

Waterstand bij stuwlocaties

Bij stuw 251A is door automatisering van de stuw het peil in alle afvoersituaties op streefpeil te houden. Omdat er in de referentie is gerekend met een vaste klepstand is een peilstijging van 8 cm in de winter en 18 cm in de zomer zichtbaar. In de praktijk kunnen beheerders voor langere periode de klepstand afstellen op een gewenst streefpeil en zou het peil naar wens ook in die situaties op NAP +12,1 m gestuurd kunnen worden. Door automatisering wordt dit beheer vergemakkelijkt.

Tabel 9: Berekende waterstanden bij stuw 251A in de referentie en ontwerpsituatie, gerekend met een sterk begroeide waterloop

Afvoersituatie	Referentie [m+NAP]	Ontwerp [m+NAP]	Beheermarge [m+NAP]
T100	21,41	12,1	11,9- 12,3
MA	12,22	12,1	
Winter	12,02	12,1	
Zomer	11,92	12,1	

Door automatisering van stuw 251C wordt het peil in hoge afvoersituaties tussen de 10 en 30 cm verlaagd. Voor reguliere situaties is het minder arbeidsintensief om het gewenste peil te handhaven. Uit de modelberekeningen komt een verlaging in de winter naar voren, echter in de praktijk kunnen beheerders dit peil naar wens afstellen.

Tabel 10: Berekende waterstanden bij stuw 251C in de referentie en ontwerpsituatie, gerekend met een sterk begroeide waterloop

Afvoersituatie	Referentie bov.str. [m+NAP]	Ontwerp bov.str. [m+NAP]	Beheermarge bov.str. [m+NAP]	Referentie ben.str. [m+NAP]	Ontwerp ben.str. [m+NAP]
T100	13,53	13,4	12,75 - 12,9	13,37	13,37
MA	13,28	13		12,97	12,97
Winter	13,01	12,9		12,48	12,49
Zomer	12,9	12,9		12,26	12,26

Stuw 251D wordt vervangen door een cascade van 10 drempels. Het bovenstrooms peil van 251D in de referentiesituatie is vergeleken met het peil bovenstrooms van de 1^e drempel, het peil ter hoogte van de voorde (uitstroom hoogwatergeul) en het peil ter hoogte van de huidige ligging van stuw 251D.

Uit de resultaten is op te maken dat de waterstand in het ontwerp het streefpeil binnen de beheermarge goed beheerst. Bij hoge afvoeren neemt het peil enkele centimeters toe ten opzichte van de referentiesituatie maar zorgt niet voor een toename van inundatierisico's. De peilen benedenstrooms stuw D zijn vergelijkbaar met de referentiesituatie waarbij het peil in de zomer in het ontwerp nog 10 cm hoger ligt.

Tabel 11: Berekende waterstanden bij stuw 251D in de referentie en ontwerpsituatie, gerekend met een sterk begroeide waterloop

Afvoersituatie	Referentie bov.str. [m+NAP]	Ontwerp bov.str. drempel 1 [m+NAP]	Ontwerp t.h.v. voorde [m+NAP]	Referentie ben.str. [m+NAP]	Ontwerp t.h.v. 251D [m+NAP]	Beheermarge [m+NAP]
T100	14,23	14,29	14,25	14,16	14,15	13,6 – 13,8
MA	13,92	13,96	13,9	13,86	13,8	
Winter	13,65	13,73	13,63	13,46	13,44	
Zomer	13,55	13,62	13,52	13,22	13,32	

Het automatiseren van stuw 251E zorgt voor makkelijker beheer van het peil. Bij maatgevende afvoeren kan de stuw het streefpeil nog handhaven. Bij piekafvoeren neemt het benedenstrooms peil dusdanig toe dat het streefpeil niet kan worden behaald.

Tabel 12: Berekende waterstanden bij stuw 251E in de referentie en ontwerpsituatie, gerekend met een sterk begroeide waterloop

Afvoersituatie	Referentie bov.str. [m+NAP]	Ontwerp bov.str. [m+NAP]	Beheermarge bov.str. [m+NAP]	Referentie ben.str. [m+NAP]	Ontwerp ben.str. [m+NAP]
T100	15,48	15,02	12,75 - 12,9	14,97	14,97
MA	15,23	14,8		14,75	14,75
Winter	14,96	14,8		14,39	14,39
Zomer	14,84	14,8		14,13	14,13

Automatisering van de stuwen zorgt met name voor beter en makkelijker beheer van de streefpeilen. Daarmee worden de risico's bij hoogwater kleiner. De cascades ter vervanging van stuw D zorgen voor peilen binnen de huidige beheermarge. Bij piekafvoeren neemt het peil de beek iets toe ten opzichte van de referentiesituatie, echter zorgt dit niet voor kritieke situaties.

Verandering waterstand zomer

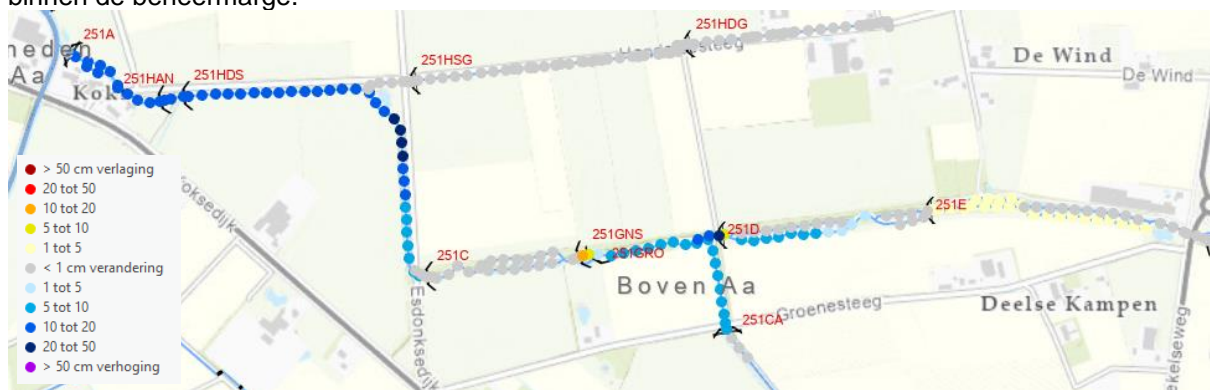
In onderstaande Figuur 10 en Figuur 11 is de verandering van de waterstand bij zomerafvoeren weergegeven.

In met name stuwpannd A is een grote peilverhoging te zien (10 – 20 cm). Dit effect komt met name door de stuwinstelling in de referentiesituatie en in het ontwerp. Een groot deel komt dus niet door het vervangen van de stuw. De twee drempels in het stuwpannd van 251A zorgt wel voor een verhoging van het peil met 1 tot 5 cm.

Het vervangen van de illegale drempel 2511GNS zorgt voor een peilverhoging van 5 tot 10 cm. Door het verval te spreiden over meerdere drempels is ook de ruimte ontstaan voor een lichte toename van de waterstand.

In het stuwpannd van 251D neemt het peil met 5 tot 10 cm toe, hiermee wordt een zomerpeil van NAP +13,62 m behaald die binnen de huidige beheermarge valt.

Conclusie: de maatregelen zorgen ervoor dat makkelijker op de gewenste peilen gestuurd kan worden. De cascades tussen 251A en 251C alsmede de cascades bij 251GNS zorgen voor een peilstijging van 5 cm. De cascades ter vervanging van stuw D kunnen het peil in de zomer handhaven binnen de beheermarge.



Figuur 10: Verandering van de waterstand bij zomerafvoeren in een matig begroeide situatie.



Figuur 11: Verandering van de waterstand bij zomerafvoeren in een sterk begroeide situatie.

Veranderingen waterstand winter

In onderstaande Figuur 12 en Figuur 13 is de verandering van de waterstand bij winterafvoeren weergegeven. Hierbij geldt dezelfde onderbouwing als onder het kopje zomerafvoeren. Door automatisering van de stuwen wordt het peil beter beheerst (niet op vaste kruinhoogte). Een groot deel van het effect komt dus niet door het vervangen van de stuw maar door het strakker sturen op een peil.

De twee drempels in het stuwpannd van 251A zorgt voor een verhoging van het peil met 10 tot 15 cm.

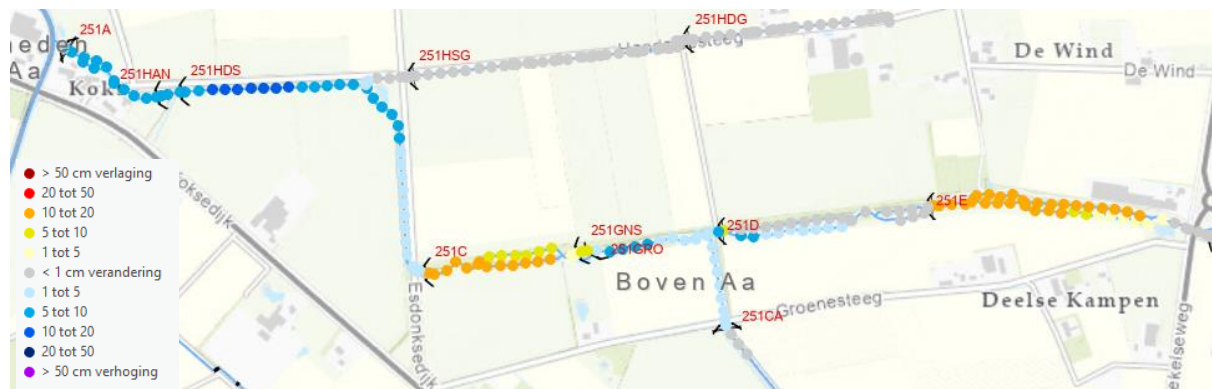
Het vervangen van de illegale drempel 2511GNS zorgt voor een peilverhoging van 5 tot 10 cm. Door het verval te spreiden over meerdere drempels is ook de ruimte ontstaan voor een lichte toename van de waterstand.

In het stuwvand van 251D neemt het peil met 5 tot 10 cm toe, hiermee wordt een winterpeil van NAP +13,73 m behaald die binnen de huidige beheermarge valt.

Conclusie: de maatregelen zorgen ervoor dat makkelijker op de gewenste peilen gestuurd kan worden. De cascades tussen 251A en 251C alsmede de cascades bij 251GNS zorgen voor een peilstijging van 5 cm.



Figuur 12: Veranderingen van de waterstand bij winterafvoer in een matig begroeide situatie.



Figuur 13: Veranderingen van de waterstand bij winterafvoer in een sterk begroeide situatie.

Veranderingen maatgevende afvoer (MA) en T100

Bij hoge afvoeren neemt de piekwaterstand in het gebied sterk af door toepassing van automatische stuwen. De cascades zorgen lokaal voor een iets hoger (1 tot 5 cm) peil maar leidt niet tot reële significante toename van inundatierisico's. In een sterk begroeide beheersituatie zorgen de maatregelen voor een afname van waterstanden in dergelijke hoogwatersituaties.



Figuur 14: Verandering waterstand bij T100 afvoer in een matig begroeide situatie.



Figuur 15: Verandering waterstand bij T100 afvoer in een sterk begroeide situatie.

Stroomsnelheden cascades

De stroomsnelheid in en rond de cascades ter vervanging van stuw 251D varieert tussen de 60 en 90 cm/s afhankelijk van de afvoersituatie.

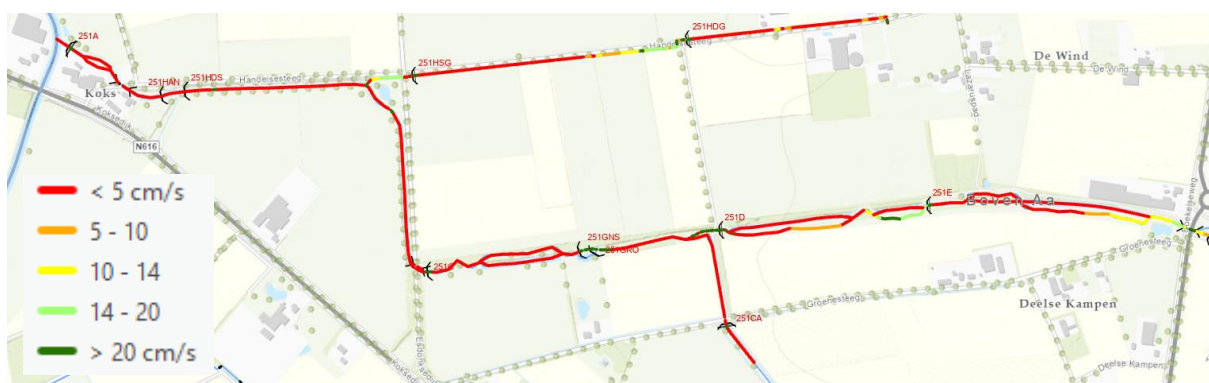
De stroomsnelheid bij 251GNS ligt in de gemiddelde zomer/winter situatie tussen de 60 en 90 cm/s. bij maatgevende afvoeren en hoger neemt dit toe tot boven de 100 cm/s. Omdat dit gaat over een kortdurende overschrijding is het acceptabel.

Cascades tussen 251A en 251C hebben een vrij constante stroomsnelheid van 60 tot 80 cm/s.

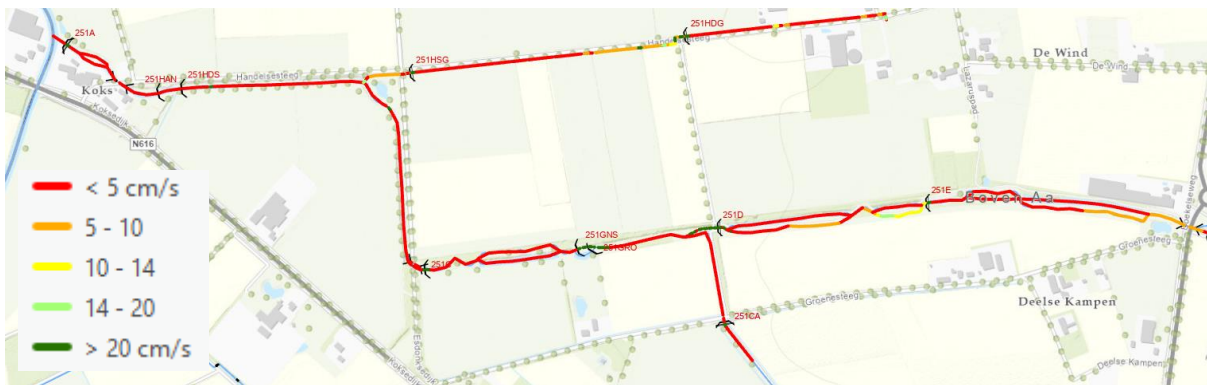
Stroomsnelheid zomer

In onderstaande Figuur 16 en Figuur 17 is de verandering van de stroomsnelheid bij zomerafvoeren weergegeven.

Over vrijwel het gehele traject is er nauwelijks stroming door de lage afvoeren en de invloed van de stuwen. Enkel benedenstrooms stuw 251E en bij de cascades is er stroming in de beek. Omdat er enkele drempels zijn toegevoegd en een hoger peil in de beek staat is de stroming 0 tot 2 cm/s afgenomen ten opzichte van de referentie situatie. In beide situaties is er sprake van een stroomsnelheid <5 cm/s. Gezien de (zeer) lage debieten in de zomer is het niet mogelijk om te voldoen aan een stroomsnelheid van >14 cm/s in de zomer. Ter hoogte van de nieuwe cascades is wel permanent stromend water (14cm/s) aanwezig in de zomer.



Figuur 16: Stroomsnelheid bij zomerafvoer in een matig begroeide situatie.

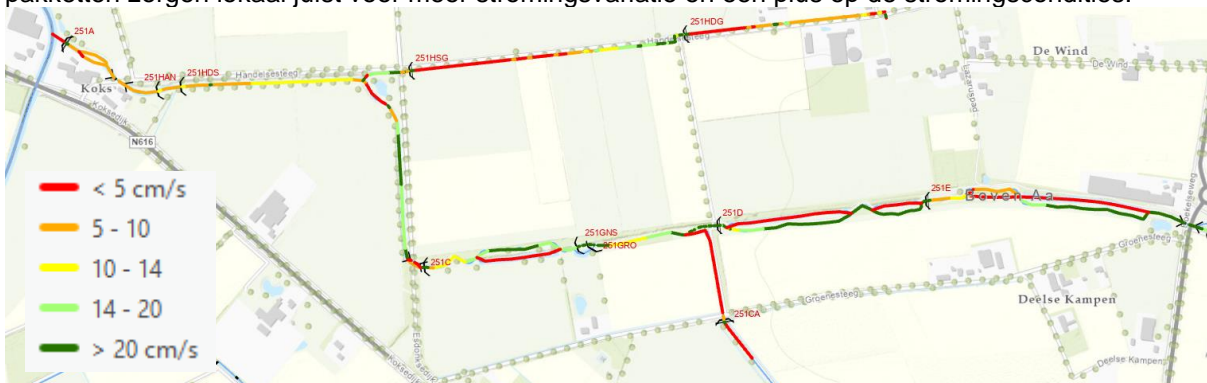


Figuur 17: Stroomsnelheid bij zomerafvoer in een sterk begroeide situatie.

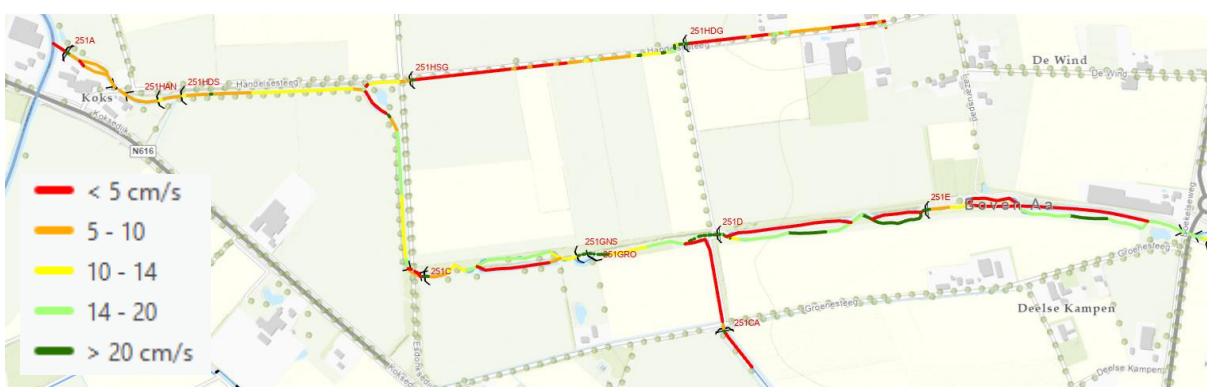
Stroomsnelheid winter

In onderstaande Figuur 18 en Figuur 19 is de verandering van de stroomsnelheid bij zomerafvoeren weergegeven.

Over bijna het gehele traject wordt voldaan aan een stroomsnelheid boven de 14 cm/s. Alleen direct bovenstrooms de stuwen 251A, 251C en 251E zijn de stromingscondities slecht tot zeer slecht. Door de extra drempels en iets hogere peilen zijn de stroomsnelheden iets afgenomen ten opzichte van de referentie, echter wordt nog ruim voldaan aan de stromingseisen. De nieuwe drempels en dood hout pakketten zorgen lokaal juist voor meer stromingsvariatie en een plus op de stromingscondities.



Figuur 18: Stroomsnelheid bij winterafvoer in een matig begroeide situatie.



Figuur 19: Stroomsnelheid bij winterafvoer in een sterk begroeide situatie.

Conclusie toetsing

Het ontwerp zorgt niet voor een significante toename van de waterstanden en inundatierisico's bij extreme afvoersituaties. Daar waar sprake is van een toename van de waterstand gaat het over voornamelijk over 1 cm en lokaal tot maximaal 5 cm. Er is voornamelijk sprake van een significante afname van de waterstand en inundatierisico's door automatisering van de stuwen.

De cascades zorgen per traject/locatie voor een toename van de waterstand in de orde grootte van 5 tot maximaal 10 cm bij reguliere afvoeren in de zomer en winter. Door automatisering van de stuwen kan het peil beter beheerst worden op het gewenste niveau.

Het verplaatsen van stuw 251HSG zorgt ervoor dat de stuw de sloot ten oosten van de Esdonksedijk ook beheerst. Hierdoor kan het peil in de sloot hoger worden gestuurd ten gunste van waterconservering. Het peilbeheer van de stuw blijft gelijk aan de huidige situatie.

De stroomsnelheid over de drempels is een groot deel van het jaar onder de 90 cm/s. Enkel bij hoge afvoeren kan de stroomsnelheid tijdelijk boven de 100 cm/s uit komen bij de cascades 251GNS. Gezien dit korte periodes betreffen is het acceptabel.

In winter en voorjaarscondities met voldoende afvoer is er sprake van goede stromingscondities in de beek. Bij het wegvallen van de afvoer stagneert het water en is vrijwel overal nauwelijks stroming aanwezig. Het plaatsen van drempels en lokaal aanbrengen van dood hout zorgt ervoor dat lokaal de stromingscondities verbeteren in zowel situaties met voldoende als met weinig afvoer.